sina-pub.ir

پیشرفت فناوری اگزواسکلتون انسانی و بحث هایی در مورد تحقیقات آینده

چکیده

پس از نیم قرن مطالعات پیوسته، توسعه اگزواسکلتون پیشرفت های زیادی را به خود دیده است و دستاورد های قابل توجهی بدست آمده اند. در این مقاله تاریخچه توسعه اگزواسکلتون در هر دو مقوله فعال و غیر فعال ارایه می شود. مدل های اصلی معرفی شده و فناوری های مربوطه بررسی خواهند شد. مسیر های تحقیقاتی فعلی و روش های در حال توسعه عمده تهیه شده و به طور نقادانه تجزیه تحلیل می شوند و در این فرایند برخی از مسائل کلیدی آشکار سازی خواهند شد. اول این که، اگزواسکلتون به طور کلی متفاوت از ربات دو پا است و مطالعات نسبی بر اساس فناوری های ربات به طور قابل توجهی غیر صحیح و نادرست هستند. دوما، مطالعات بیومکانیکی تنها برای مسیر یابی حرکت بدن انسان استفاده می شوند و اثرات متقابل بین ماشین و انسان به ندرت مطالعه می شود. سوما، شیوه های توسعه سنتی که بر کنترل بازخوردی تاکید دارند از ساخت سیستم های قابل حمل نقص مادرزادی دارند. توجه تحقیقات باید به بعد انسانی سیستم کوپلینگ معطوف شود و توانایی انسان برای یادگیری و سازش، نقش معنی داری در الگوریتم های کنترل ایفا می کند. بعد از خلاصه ای از مسائل و مشکلات اصلی، کار های آینده بحث می شوند. استدلال بر این است که چون یک مرز متفاوت را نمی توان در چنین سیستم کوپلینگ قوی اگزواسکلتون انسانی ترسیم کرده، هر چه سیستم کنترل پیچیده تر باشد، کاربر به سختی می تواند از آن استفاده کند. پیشنهاد بر این است که اگزواسکلتون باید به صورت یک ابزار پوشیدنی ساده در نظر گرفت شود و کم ارزش تر شدن سطح اتوماتیک و خودکار آن می تواند تغییری به سمت تحقیقات گسترده تر و چشم انداز های روشن تر باشد. این کار به خودی خود آسان نیست زیرا نیازمند پشتیبانی های تئوریکی از طرف رشته هایی نظیر بیومکانیک، ارگونومیک و بیونیک می باشد.

لغات کلیدی: اگزواسکلتون، روبات، بیومکانیک ارگونومیک و بیونیک

1-مقدمه

sina-pub.ir

اگزواسکلتون انسانی، نوعی سیستم الکترومکانیکی است که در اصل از داستان های کمیک نشئت می گیرد. این می تواند به انسان ها یک قدرت اضافی و مازاد برای مقاومت در برابر خستگی، برداشتن وزنه بیشتر، دویدن سریع تر و پریدن بیشتر بدهد. این موارد به صورت یک زره ای سبک وزن بر بدن انسان طراحی شده و سیستم قدرت آن در صورتی که ماهیچه ها نیازمند کمک برای انجام کار های سخت باشد روشن می شود.مسلما، دستاورد و پیشرفت اگزواسکلتون ها در زندگی افراد به خصوص افراد معلول و زخمی نقش بسیار فعالی خواهد داشت و می تواند در ابزار های سرگرمی و ورزشی نیز با ارزش تجاری بسیار بالا به کار گرفته شود.

بر اساس این چشم انداز رو به پیشرفت، مطالعات بر روی تجهیزات پوشیدنی فوق العاده بیش از 50 سال انجام شده اند. از مهم ترین طرفداران این محصولات، وزارت دفاع است که خواهان سرمایه گذاری میلیون ها دلار در این زمینه است. هر چه یک سرباز تجهیزات بیشتری را بتواند با خود حمل کند، توانایی نبرد او افزایش خواهد یافت. بر اساس استاندارد نظامی امریکا،یک سرباز مجاز به حمل 30 درصد وزن کل خود در هنگام جنگ می باشد و این بر اساس استاندارد PLA، حدود 245 N است. با این حال در سایه سلاح های گرم و تجهیزات مدرن، بار سربازان فراتر از این آستانه شده است. این موضوع در رابطه با نیرو های ویژه بیشتر صدق می کند این افراد در شرایط سخت و اضطراری با پشتیبانی لجستیک کم عمل می کنند.

در اواخر دهه 1960 میلادی، تحقیقات جنرال الکتریک اقدام به توسعه و تست یک نمونه آمپلی فایر بدن بر اساس سیستم ارباب- برده موسوم به هاردیمن کرد(2-3). این یک سیستم هیدرولیکی بسیار قوی بود(با وزن بیش از 5900 نیوتون) و تنها قادر به بالا بردن یک بازو بود. این سیسنم در اواخر تکمیل خود نیمه تمام باقی ماند. پروژه های تحقیقاتی مختلف توسط پروفسور وکوبراتویک در صربستان در دهه 1970 میلادی صورت گرفت(4-5) و کار های مشابهی در MIT از اوایل دهه 1980 میلادی صورت گرفت(6). با این حال، مطالعات اندکی طی 20 سال بعد به دلیل کمبود فناوری به خصوص در سخت افزار های کنترلی صورت گرفت.

sina-pub.ir

در اواخر قرن 20، با پیشرفت سریع علوم کامپیوتری و نیز فناوری های کنترلی و هدایت کننده،DARPA بر این باور بود که اصول فنی برای شروع مجدد پروژه اگزواسکلتون کافی است. آن ها یک پروژه 7 ساله موسوم به EHPA(7) را ا با سرمایه کل 50 میلیون دلار آغاز کردند و انتظار داشتند که طی یک دهه خدمات را ارایه دهند. از آن زمان به بعد، تحولی در تحقیقات اگزواسکلتون به وجود آمد.

علاوه بر ارتش ایالات متحده، بسیاری از دانشکده ها و موسسه ها در ژاپن، روسیه، بریتانیا، المان،کره و سنگاپور نیز پروژه هایی را شروع کردند. صد ها نتایج جالب طی چند سال اول قرن 20 منتشر شد که موجب ایجاد این خوش بینی شد که مرد آهنین به زودی در خیابان ها دیده خواهد شد.

با این حال توسعه اگزواسکلتون کاهش یافت و دستاورد های کمی طی سال های بعدی گزارش شد. چندین مقاله مروری در سال 2008 و 2009 به بررسی جدید ترین پیشرفت ها پرداختند و جهات پیشرفت اینده به شیوه ای خوش بینانه ترسیم کردند(8-10). با این حال، مشکلات فناوری بیشتر از قبل شد و بسیاری از مشکلات مهندسی به صورت چالش های اصلی مد نظر قرار گرفتند.

بنابراین، اگزواسکلتون دقیقا چیست؟ چرا همیشه مشکلاتی کوچک بر سر راه عملی شدن آن ایجاد می شوند. اکنون باید برگشت و به عقب نگاه کرد و به طور نقادانه مسیر های تحقیقاتی که منجر به این نقیصه ها شدند را مرور کرد. مفهوم اگزواسکلتون و دامنه تحقیقات آن باید مجدد مطابق با سطح فناوری و علوم انسانی فعلی تعریف شوند.

در این مقاله تاریخچه توسعه اگزواسکلتون در هر دو مقوله فعال و غیر فعال ارایه می شود. مدل های اصلی معرفی شده و فناوری های مربوطه بررسی خواهند شد. مسیر های تحقیقاتی فعلی و روش های در حال توسعه عمده تهیه شده و به طور نقادانه تجزیه تحلیل می شوند و در این فرایند برخی از مسائل کلیدی آشکار سازی خواهند شد و در پایان ارزیابی نقادانه ای از روش های تحقیقاتی بر روی ربات انجام شده و اهداف تحقیقاتی آینده روشن می شوند.

2- تحقیقات بر روی اگزواسکلتون

sina-pub.ir

در حال حاضر، جهات تحقیقاتی اگزواسکلتون ها را می توان به دو مقوله تقسیم کرد: فعال و غیر فعال که این تقسیم بندی بر اساس این معیار است که ایا سیستم دارای باطری یا منبع توان قابل حمل است یا نه؟ این بخش به بررسی جدید ترین پیشرفت ها در هر دو مقوله می پردازد.

2- اگزواسکلتون فعال

اگزواسکلتون فعال یک سیستم ربات دو پا متصل به بدن انسان بوده و دقیقا با حرکات بدن تنظیم و هم زمان سازی می شود. از نظر تئوری، توانایی این نوع اگزواسکلتون، نامحدود بوده و در واقع، می توان آن را برای کار هایی که با توان ذهن انجام می شوند طراحی کرد. بیشتر تحقیقات جاری بر اگزواسکلتون های فعال تاکید دارند و بسیاری از ان ها در امریکا و ژاپن صورت گرفته اند.

در سال 2004، گروهی به رهبری دکتر کازارونی از UCB ، سیستم BLEEX ر ا گزارش کرد که توسط پروژه EHPA از DARPA. پشتیبانی می شد. این سیستم اولین اگزواسکلتون کارکردی با بدن انسان در داخل آن بود.

شکل BLEEX:1 دانشگاه کالیفرنیا، برکلی

یکی از برجسته ترین خصوصیات BLEEX این بود که می تواند وزن 333 نیوتونی را تحمل کند و با سرعت 2.3 متر در ثانیه به مدت 4 ساعت حرکت کند.BLEEX دارای15 DOFs می باشد که تقریبا کل درجات آزادی مفاصل زانوهای پایینی انسان را پوشش می دهد. از این روی، فریم آن می تواند همه حرکات را نجام دهد و پاها نیز قادر به حرکت در همه جهات هستند. در سیستم کنترلی مربوطه، روش SAC نیروی بدن را

sina-pub.ir

به عنوان یک فاکتور کلیدی حساس در نظر می گیرد. کنترل گر تعیین کننده حرکات اگزواسکلتون بر اساس داده های جمع آوری شده توسط سنسور هاست و این موجب کاهش نیروی وارده بر بدن انسان می شود. از این روی به طور مجموع، 46 ستسور از انواع مختلف درون سیستم کار گذاشته شده اند(14). اگرچه این راهبرد کنتلی می تواند منجر به حساسیت بالایی شود، با این حال قابلیت آن پایین بوده و موجب شده است تا این سیستم به شدت به مدل هال فعال متکی باشد و این که نیاز به آزمایشات زیادی برای بهینه سازی همه پارامتر ها دارد(15-16).BLEEX از موتور دیزلی کوچک برای تامین برق استفاده کرده و دارای یک مخزن سوخت 4 لیتری است زیرا رهبر تیم بر این باور است که سوخت هیدروکربنی هنوز سبک ترین منبع انرژی است. کل سیستم توان آن دارای وزن 265 نیوتون بوده و فشار کاری 6.9 مگاپاسکال است. با این حال کارایی توان BLEEX تنها 13 درصد بود.

BLEEX از حیث سیستم کنترل و ساختار پیشرفته و پیچیده تر است و این موجب کاهش حرکات کاربر می شود. حتی با بهینه سازی بیشتر بعید است که BLEEX بتواند به زندگی روزانه فرد وارد شود.هنوز BLEEX را می توان به آسانی به تن کرد و سیستم کنترلی آن می تواند از سرعت فرد تبعیت کند و از این روی هیچ گونه تنظیمات اضافی برای سازش سیستم با طیف وسیعی از افراد نیاز است.

بعد از آزمایشات متعدد بر روی پلتفرم و بستر BLEEX انجام شده توسط همان تیم، این سیستم به طور قابل توجهی بهبود بخشیده شده و به اگزوهیکر ExoHiker در ژانویه 2005 تکامل یافت(21).

ExoHiker با فشار هیدرولیک همانند بلکس کار می کرد ولی راهبرد کنتلی آن تا حد زیادی ساده شده بود. راهبرد کنترل فعال به صورت کنترل پیگیرانه طراحی شد. این ساده سازی موجب کاهش وزن سیستم تا کم تر از نصف شد. با کاهش تعداد مفاصل و تمرکز سیستم کنترل بر روی مفصل زانون، ExoHiker می توانست به مدت 4 ساعت با باطری یون لیتیوم با وزن 39 نیوتون کار کند.

بر اساس تست های مستقل انجام شده توسط مرکز ناتیک سولیجر، سیستم ExoHiker از حیث تنوع حرکتی و قدرت بدنی عالی بود: این خود از همه حرکات بدن از جمله باز شدن ناگهانی پاها، چمپاته شدن

sina-pub.ir

و خزیدن تبعیت می کرد. تست دیگر در 2006 نشان داد که هنگام استفاده از ExoHiker و سرعت 3.2 کیلومتر بر ساعت، فرد پوشاننده 5 تا 12 درصد اکسیژن کم تر مصرف کرده و هنگام حمل بار 360 نیوتونی اکسیژن کم تری نیاز دارد.ExoHiker یک سیستم اگزواسکلنتونی کم مصرف بوده و پیشرفت قابل توجه آن موجب شده است تا DARPA آن را از ازمایشگاه به میدان نبرد بگشاند.

متاسفانه دکتر کازارونی که پیشگام تحقیقات اگزواسگلتون بود این کار را رها کرد و همه اسناد و امتیازات به یک پیمان کار دفاعی به نام لوکد مارتین در 2006 محول شد.

در اوایل 2006، ExoHiker به HULC(22) تغییر نام یافت(شکل 2) و برای عموم معرفی شد. اگرچه عملکرد اندام فوقانی نیز به آن افزوده شد پیشرفت های کمی در این سیستم دیده شد. بعد از انف پیشرفت زیادی در HULCگزارش نشد.

شکل 2: HULC از لوکید مارتین

دیگر پروژه مهمی که توسط DAPAR, XOS پشتیبانی می شد و سیستم اگزواسکلتونی تمام بدن بود(شکل 3)، توسط سارکوس در 2005(23-24) معرفی شد. محرک های هیدرولیکی دوار مستقیما بر روی مفاصل به جای محرک های هیدرولیکی خطی قرار داده شدند و کنترل آن حالت پوشاننده را با کمک اطلاعات جمع اوری شده توسط سنسور ها در بازو، پا و کوله پشتی حاصل کردند طوری که سیستم می تواند نیروی معکوس متناظر خروجی را هم زمان داشته باشد. این نیرو های جبرانی را می توان تا بیش از 10 برابر تقویت کرد. برای مثال، با کمک این سیستم، افراد می توانند وزن 882 نیوتون را حمل کنند.

sina-pub.ir

شکل XOS:3 از سارکوس

در سپتامبر 2010، Raytheon یک نسخه جدید را موسوم به XOS-2 معرفی کرد. این سیستم جدید از سیستم هیدرولیکی نظیر قبلی ها استفاده کرده و در آن تعداد زیادی از سنسور ها، واحد های اجرایی و کنترل گر ها استفاده شود. تستر با پوشیدن این سیستم قادر به بلند کردن وزنه 890 نیوتونی برای صد بار بدون هر گونه خستکی بود. تستر ها هم چنین قادر به خرد کردن تخته های چوبی 76.2 میلی متری بودند. به علاوه، سیستم جدید سبک تر، سریع تر و قوی تر بود و مصرف انرژی تا 50 درصد کاهش داد. با این حال، معایب اصلی XOS-2 این بود که انرژی بیشتری مصرف می کرد و این موجب می شد تا استفاده از یک منبع انرژی توکار غیر ممکن بود. به پشت آن یک زائده دم مانند وصل می شد که موجب می شد نا تستر یا فرد از مسیر خارج نشود. با این حال طراح آن بر این باور بود که این یک مسئله مهندسی پیش پا افتاده است و می توان سریعا بر آن غلبه کرد. تاکنون، گزارش های XOS-2 نشان داده اند که این زائده موجب بروز مشکل می شود.

در مقایسه با اگزواسکلتون هیدرولیکی، موتور های الکتریکی دارای این مزیت ها از حیث وزن، قدمت و اطمینان پذیری می باشند. از این روی تحقیقات بر روی اگزواسکلتون های موتوری در بسیاری از موسسات انجام می شود که از جمله در داتشگاه سوکوبا که به نتایج قابل توجهی نیز دست یافته است(شکل 4).

sina-pub.ir

شکل 4: سری های HAL دانشگاه سوکوبا

HAL-1 در 1999 توسط دانشگاه اعلام شد(25).HAL-3 در سال 2001 رونمایی شد و در سال 2005، نسخه های تجاری HAL-5 در Aichi Expo(25) معرفی شد. HAL-5 یک اگزواسلکتونی کامل با وزن 147 نیوتون(27) بود. فریم آن متشکل از الیاژ الومینیوم با اجزای فولادی در مفاصل بود.HAL-3 دارای شش مفصل، بود و زانو ها و کفل ها با موتور های DC کار می کردند و قوزک ها توسط فنر هایی پشتیبانی می شد که موجب افزایش پایدرای بدن می شد(28). درجه حرکت موجب شد تا هر یک از مفاصل بر اساس میزان قابلیت مفاصل بدن برای پیش گیری از اسیب انعطاف خود را افزایش دهد.HAL-5 دارای ساختار اندام فوقانی مشابه با HAL-3 بود و جدیدا عملکرد تحمل بار نیز به این اندام افزوده شده است.

سری های HAL عمدتا از سنسور های EMG به صورت ورودی بهره می برند. بر اساس این سگنال ها، موتور های بدون بازخورد تولید گشتاور یکسانی مشابه با فشار ماهیچه بدن می کنند که حرکات اسکلتون را با حرکات بدن(29) هم زمان سازی می کند. کنترل گر HAL از کامپیوتر های کوچک باطری کار مجهز به کارت شبکه بی سیم استفاده می کند که در پشت آن قرار داده شده است.HAL عمدتا برای خدمات مدنی نظیر پرستاری و کمک به افراد معلول استفاده می شود.

سییستم هال اولین اگزواسکلتون تجاری در بازار بود. برخی از نقائص و ایراد های آن مربوط به سنسور های eMG بود که برای کسب سیگنال های بیوالکتریک از ماهیچه ها استفاده می شود. از آن جا که باید به پوست انسان متصل می شد، تحت تاثیر عرق و حرکات بدن قرار گرفته و از این روی کیفیت سیگنال را

sina-pub.ir

کاهش می داد. به علاوه، موتور های DC وقتی که فرد با سرعت زیادی می دوید قادر به تولید توان کافی نبودند. از نظر فنی میزان خروجی توان سیستم های موتوری با سیستم های هیدرولیکی قابل مقایسه نبود.

علاوه بر HAL تجاری موجود بسیاری از موسسات در دنیا، اگزواسکلتون های تجاری خاص خود را نظیر LEE [30] , IHMC[31] , PAS [32] و WWH-KH[33–34] توسعه دادند. این سیستم ها دارای خصوصیات خاص خود می باشند و هنوز به صورت نمونه های ازمایشکاهی دیده می شوند(شکل 5).

شکل 5: ابزار های آزمایشی که با موتور های الکتریکی کار می کنند.

پنوماتیک، دیگر گزینه مهندسی برای حرکت اگزواسکلتون ها می باشد. مزیت اصلی محرک نئوماتیک، الاسیتسیته آن می باشد که مانع از ضربه خوردن بدن می شود.

در سال 2002، WPAS[35] توسط موسسه فناوری کاناگاوا ژاپن ارایه شد. این برای کمک به پرستاران برای پرستاری استفاده شد. با کمک این سیستم، پرستاران می توانستند 294 نیوتون بار را حمل کنند. WPAS توسط پمپ های میکرو کار می کرد و در آن ها باطری های قابل حمل SN-Ni قرار داده شده و

sina-pub.ir

توسط واحد های ریز پردازنده کنترل می شوند. بازوها، کمر و ران همگی توسط محرک های پنوماتیک دوار پشتیبانی شدند. پرستار مجهز به WPAS به راحتی در محیط بیمارستان کار می کرد.

تیم دانشگاه سالفورد بریتانیا، تحقیقات خود را از دهه 90 شروع کرده و اگزواسکلتون اندام پایینی پنوماتیک را در 1999(37) توزیع کرد. نسحه آپدیت در 2006 معرفی شد.PMA به صورت محکری ارایه شد که خواص کارکردی آن مشابه با ماهیچه های انسانی بود. قطر pMA تنها 2 سانتی متر بود و طول آن از 50 تا 70 سانتی متر متغیر بود. کل سیستم دارای 10 درجه آزادی بود و وزن آن 117 نیوتون بود(38).کنترل گر داده ها را از سنسور های مختلف جمع اوری کرده و از PMA استفاده کرد. فرکانس کاری آن 200 هرتز بود که موجب حرکت یکنواخت سیستم می شد.

در سال 2008، دانشگاه راسل بلژیک یک اگزواسکلتون مبتنی بر PPAM(39) را اعلام کرد. مفاصل دو زانو با موتور کار می کردند و الگوریتم کنترلی بر اساس روش PSMC بود. این سیستم هنوز در مرحله ازمایشی قرار دارد. تنها یک پا ایجاد شده بود.

تیم دانشگاه میشیگان(40-42)، مفاصل قوزک را با فریم کربن فیبر با ماهیچه های پنومانیک مصنوعی ارایه کرد. وزن آن تنها 17 نیوتون بود و فرد به آسانی از آن استفاده می کرد. تست های آزمایشی نشان دادند که این سیستم قادر به بهبود ماهیچه های مفصل قوزک است.

دانشگاه دی تورینو ایتالیا،سیستم N PIGRO176 را در سال 2010 (43) ارایه کرد. این اگزواسکلتون با شش سیلندر هوا واقع در قورک، زانو و مفاصل کفل کار می کرد. محرک ها به طور مستقل توسط روش حلقه بسته در حالت نسبتا ساده کنترل می شدند. این سیستم برای توانمند سازی طراحی شده بود نه برای پیاده روی فعال.

کار های تحقیقاتی در چین در سال 2005 شروع شدند. با پشتیبانی NNSFC، گروهی در دانشگاه مهندسی هاربین، تحقیقاتنی را بر روی اندام پایینی ربات(44-45) انجام دادند. در طی سه سال اخیر، بسیاری از گروه ها در دانشگاه ها و مهندسان، نظیر آکادمی علوم چین، موسسه ماشین های هوشمند،

sina-pub.ir

دانشگاه علوم الکترونیک و فناوری چین(52-53)، در این زمینه کار کردند و مقالات متعددی در کنفرانس های متعدد چاپ شدند.

این طرح ها با موفقیت هایی همراه بودند و کار های آن ها عمدتا بر مطالعه روش های کنترل تاکید داشتند با اما برخی از نتایج آن ها مشابه یک دیگر بود.

شکل6: دستگاه های آزمایشی که با سیستم پنوماتیک کار می کنند

در سال 2006، پروژه توسعه اگزواسکلتون های میدان نبرد توسط وزارت دفاع آغاز شد. تیم های دانشگده مهندسی هوانیروز(54-55)، دانشگاه علوم و فناوری شرق چین(56-57)، و دانشگاه هوانوردی و فضاو نوردی(58) در این کار وارد شدند. سیستم های هیدرولیکی و DC به طور جدا گانه برای پروژه توسعه یافتند. سیستم هیدرولیکی به مدت 2 ساعت پی در پی پیاده روی می کرد 294 نیوتون بار حمل کرده و پیشرفته ترین سطح از نظر تحقیقات داخلی داشت(شکل7).

sina-pub.ir

Fig. 7. Engineering attempts in China

شکل 7: تلاش های مهندسی در چین

با این حال لازم به ذکر است که بهترین سیستم های داخلی هنوز 5 تا 10 سال عقب تر از انواع پیشرفته جهانی هستند.

مهم ترین ویژگی های چهار سیستم اصلی فوق در جدول 1 نشان داده شده است. این چهار مورد بیانگر جدید ترین پیشرفت ها در حوزه توسعه اگزواسکلتون فعال می باشند.

2-2 اگزواسکلتون غیر فعال

اصطلاح اگزواسکلتون غیر فعال اشاره به نوع اگزواسکلتونی دارد که می تواند موجب بهبود فعالیت بدن بر اساس انرژی بدست آمده از انرژی بدن شود نه این که از منبع برق یا توان خارجی استفاده کند. در واقع، اگزواسکلتون غیر فعال نوعی از مکانیسم فنری متصل به بدن است. این خود انرژی تلف شده را در سیکل پیاده روی جمع کرده و در صورت لزوم آن را آزاد می کند. چون عرضه انرژی کاهش یافته است، اگزواسکلتون های غیر فعال سبک و زره مانند بوده و نیاز به نگه داری کمی دارد/

Parameter	BLEEX	HULC	XOS	HAL
Release time	2004.3	2009.2	2010.9	2011.1
Driver type	Hydraulic	Hydraulic	Hydraulic	Motor
Weight /N	490	235	931	216
Load /N	333	882	882	1568
Walk speed /(km • h^{-1})	4.7	11	5	4.5
Working time /h	2.0	2.0	8.0	1.5

sina-pub.ir

جدول 1: ویژگی های سیستم های منتخب

تحقیقات بر روی اگزواسکلتون های غیر فعال توجه زیادی را از طرف ارتش امریکا در سال های اخیر جلب کرده است. د در دومین مرحله برنامهEHPA، ناتیکا سولیجر سنتر یک پروژهFFW را رونمایی کرده است و از طرح مفخومی برای سال 2010 استفاده می کند که بر اساس اگزواسکلتون های غیر فعال بود. با هدف بهبود بقا و تحرک سربازان، این پروژه طبقه بندی شد. اطلاعات کمی در خصوص طراحی آن موجود است و تنها چندین تصویر تاکنون از آن ارایه شده است. ارتش روسیه یک پروژه سری Brave-21, را آغاز کرده است که اطلاعات کم تری در مورد آن در دسترس است.

شکل 8: اگزواسکلتون مفهومی و برنامه بلند مدت ارتش امریکا در سال 2030

ابزار های بهبود دهنده مقاومت فنر مانند به طور گسترده ای بررسی شده و تولید گردیده اند. این محصولات که بر اساس نظریه بازیافت انرژی طراحی شده اند را می توان جزو اگزواسکلتون های غیر فعال در نظر گرفت.

شرکت APL امریکا یک کفشی را اختراع کرده است که توسط NBA قدغن و ممنوع اعلام شده است(54). در شکل این کفش با کفش های معمولی هیچ تفاوتی وجود ندارد و فرد می تواند با آن 10 سانتی متر بیشتر بپرد. راز APL وجود چهار فنر قوی و کوتاه در پاشنه است.

شرکت OSSUR یک پروتز موسوم به Cheetah Xtreme(60) اختراع کرده است که به ورزشکار معلول افریقایی، اسکار پیستوریس در المپیک 2012 کمک شایانی کرد(شکل9). این یک فنر کربنی

sina-pub.ir

فیبری بدون کنترل مصنوعی است. تسی برای مقایسه افرادی که از آن استفاده می کردند توسط پیتر برگرمن از داتشگاه جرمن اسپورت در کولن آلمان انجام شد(61). نتایج نشان داد که فرد هنگام دویدن با سرعت خاص، 25 انرژی کم تری در مقایسه با افراد سالم مصرف می کند وقتی که سرعت افزایش می یابد انرژی حاصل از این پروتز سه برابر بیشتر از یک مفصل قوزک انسانی می رسد. افت انرژی ناشی از این اندام مصنوعی تیغه ای شکل 9.3 سه درصد در مقایسه با 41.4 درصد مفصل قوزگ انسان بود که انرژی مکانیکی نسبت به مفصل قوزک سالم بیش تر از 30 درصد بود.

شکل 9: کفش های APL و اندام مصنوعی الاستیک OSSUR

لازم به ذکر است که اندام مصنوعی یک دستگاه ارتوتیک طراحی شده به صورت جایگزین در بدن است که متفاوت از اگزواسکلتون کار می کند.

بر اساس همین روش الاستیک، نوع جدیدی از پد های پلاستیکی متصل به کفش ورزشی توسط گروه دانشکده مکانیک و مهندسی تولید ولفسون تولید شد. با اصلاح سختی و مقاومت پد ها، کارایی مکانیکی دوبرابر شد. متاسفانه چون مقاومت پد ها را نمی توان بعد از ساخت تغییر داد، پد ها برای دویدن و پیاده روی آهسته بسیار سخت و انعطاف ناپذیر هستند.

افراد خاطر نشان می کنند که انرژی تلف شده در روند حرکات بدنی را می توان برای تولید برق جمع اوری کرد. کفش ژنراتور بر اساس این ایده طراحی شد اما نتیجه ناامید کننده بود. اگرچه میزان توان به 1 وات بهبود یافت، با این حال برای حرکت اکزواسکلتون بسیار کم بود.

sina-pub.ir

دستگاه های استفاده کننده از انرژی بیومکانیکی توسط دانشگاه سیمون فریزر کانادا در مجله ساینس در سال 2008 منتشر شدند(64). این یک ژنراتور الکتریکی کوچک پیاده شده بر روی زانو بود که فریم آن متصل به کفل و زانوی پایین بود. این قادر به تولید 5 وات برق در هر پا با حداقل پیاده روی بود(شکل 10).

نتایج آماری نشان داد که اندام بالایی می توانست بدون اثر گذاری بر پیاده روی طبیعی تولید کم تر از 15 وات کرد. به عقیده ما، ژنراتور های برق بیومکانیکی به عنوان منبع برق برای اگزواسکلتون ها کاربرد ندارند.

شکل 10: کفش های ژنراتور، دستگاه جمع اوری انرژی و نمودار انرژی کل که توسط انسان جمع اوری می شود

اگزواسکلتون غیر فعال یک مفهوم جدید نسبی است که برای غلبه بر معایب اگزواسکلتون فعال پیشنهاد شده است. توانایی اکزواسکلتون غیر فعال برای ذخیره انرژی در روند حرکات بدن و آزاد سازی انرژی می تواند در میدان نبرد بسیار ارزشمند باشد زیرا شانس سرباز را برای بقا بسیار بیشتر افزایش می دهد. در عین حال، فریمک اگزواسکلتون فعال را می توان به صورت مجموعه ای از زره بدنی باری حفاظت از سرباز طراحی کرد.

اگزواسکلتون غیر فعال قادر به جمع آوری کار منفی طی پیاده روی و دویدن انسان می باشد و در صورت لزوم آن را منتشر می کند. اگرچه روش کار غیر فعال نمی تواند به هدف واقعی خود برسد با این حال آن ها

sina-pub.ir

دارای بسیار یاز خصوصیات مناسب می باشند: سادگی ساختاری، فریم سبک وزن، توان و منبع برق بیومکانیکی، و کنترل انسانی مستقیم. این مزیت ها به استفاده از آن ها در علوم نظامی و بازار های مصرف کننده کمک زیادی می کند. این مزیت ها هم چنین می توانند نسبت به اگزواسکلتون های فعال از هر دو حیث مناسب تر باشند و موجب رواج آن ها شوند.

در صورتی که مفهوم را بسط دهیم، هر گونه ابزار برای بهبود توان و قابلیت فیزیکی افراد را می توان به صورت اگزواسکلتون غیر فعال در نظر گرفت. شولدر پول، ، طرمبلنس، صبرنجبوردس و مستسز ابزار هایی هستند که می توانند تجربه مناسبی را برای طراحی اکزواسکلتون ها در اختیار بگذارند. در واقع آن ها اگزواسکلتون های غیر فعال می باشند که در دستگاه های ورزشی و سرگرمی استفاده می شوند و در منابع مطالعات زیادی در مورد آن ها صورت گرفته است.

شکل 11: کفش های الاستیک و لوازم ورزشی

مطالعات مربوطه طی 5 سال پیش شروع شده اند ولی بسیاری از دستاورد ها منتشر نشده اند زیرا آن ها بیشتر در مناطق نظامی قابل کاربرد می باشند.

2.3 فناوری های کلیدی اگزواسکلتون

3.2.1 تحلیل حرکت بالینی

تحلیل حرکت بالینی، مهم ترین پشتیبانی بیومکانیکی برای طراحی اگزواسکلتون است. پیوستگی حرکتی بین فریم و اندام های بدن نشان می دهد که هیچ کونه تداخلی در طی زمان رخ نمی دهد. مصرف انرژی

sina-pub.ir

ماهیچه ها زمان پیاده روی باید برای طراحی اگزواسکلتون تحلیل شود. با این حال الگوهای حرکتی از یک فرد به فرد دیکر متغیر هستند و حتی حرکت یک فرد بسته به شرایط سلامتی و روحیه او متغیر است. طراحی یک روش کاری جامع برای اگزواسکلتون غیر ممکن است. از این روی تحلیل حرکات اندام پایینی اساس طراحی سیستم اکزواسکلتون پیاده روی است.

2.3.2 الگوریتم کنترل

حفظ پایداری حرکتی یک مسئله مهم در تحقیقات اگزواسکلتون است. میمور وکوراوتیک از دانشگاه بلکرد یوگسلاوی یک تئوری پایداری پیاده روی دوپایی را ارایه کرده است: نقطه ممان صفرکه در کنترل ربات های دوپا استفاده می شود. نقطه ممان صفر نقطه ای است که در آن خط عمل نیروی خارجی با سطح زمین برخورد می کند. مسائل اساسی در کنترل روبات‌های دوپا، وجود تعداد درجات آزادی زیاد در مکانیزم آن‌ها، طبیعت ضربه‌ای برخورد در این سیستم‌ها و زیر فعال بودن آن‌ها است. اکثر کارهای انجام شده در زمینه روبات‌های دوپا همچون روش پایداری نقطه ممان صفر برای روبات‌های تمام فعال و روش نگاشت پوآنکاره برای روبات‌های زیر فعال بر مبنای مدل‌سازی دقیق روبات و محیط اطراف آن استوار هستند. چنین روش‌هایی هنگامی که روبات وارد محیط‌های از پیش تعیین نشده و با ناهمواری‌های گوناگون می‌شود موفق نبوده و به عبارت دیگر تطبیقی نیستند. در حالی‌که ویژگی اصلی حرکت انسان و مهره‌داران دیگر، تطبیقی بودن حرکات آن‌ها است. به عبارتی جانوران توانایی‌های شگفت‌انگیزی را در حرکت در محیط‌های گوناگون از خود نشان می‌دهند. نقطه ممان صفر یک قاعده دقیق از CGA می باشد و یک نظریه بسیار مهم در الکوریتم کنترلی محسوب می شود با این حال برای طراحی الکوریتم های کنترل اسکلتون کافی نیست.

2.3.3 مسائل توان و محرک

تامین توان یک چالش مهم در تحقیقات اگزواسکلتون است. به طور کلی همه اگزواسکلتون های فعال، هیدرولیک یا پنوماتیک با موتور های دی سی کار می کنند و باطری را به عنوان منبع توان مورد استفاده قرار می دهند. عرضه توان آخرین گزینه نمی باشد و این که موتور های DC توان کافی را برای حرکت

sina-pub.ir

اگزواسکلتون ها تولید نمی کنند به خصوص در رابطه با موادی که برای کار های نظامی سنگین تر طراحی می شود.

سری های XOS نمونه های بسیار خوبی هستند. آن ها هم در طراحی و هم کنترل موفق عمل کرده اند با این حال پیشرفت آن ها در گرو ایجاد یک سری منابع توان قابل حمل در آینده است.

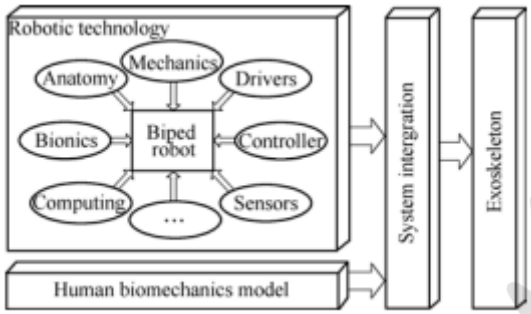
دستگاه محرک یک مسئله مهم دیگر است. همه پروژه های تحقیقاتی بر روی فناوری های محرک و توان کافی برای بهبود ظرفیت بار و زمان استند بای کار می کنند. چندین دستگاه قادر به تولید بتوان برای حرکت اگزواسکلتون ها می باشند با این حال مسائلی نظیر اندازه بزرگ و کاهش انعطاف پذیری وجود دارند.ارتعاشات ناشی از سیستم های پنوماتیک و هیدرولیک معمولا نباید نادیده گرفته شوند و استفاده از منبع گاز و مایع می تواند بسیار سنگین باشد. تاکنون، هیچ یک از محرک های موجود در مقایسه با ماهیچه های انسانی از نظر کارایی و وزن مناسب نبوده اند.

ایمنی و اطمینان پذیری سیستم های هیدرولیکی وبادی از مسائل بسیار مهم است. همه مسائل فوق توسط برخی محققان کم تر مورد توجه قرار گرفته اند. متاسفانه، اگزواسکلتون باید یک قطعه کامل از یک دستگاه باشد. حتی اکر سیستم اگزواسکلتون قادر به انجام همه وظایف باشد، تحمل برخی عیب ها از نظر وزنی، شکل، مقاومت، اطمینان پذیری و ایمنی غیر ممکن است.

3-بحث هایی در مورد مسائل فعلی و توسعه آینده

بر اساس تحلیل بیش از 400 مقاله، ما مسیر تحقیقات فعلی و روش های توسعه اسکلتون را نقشه یابی کردیم. تحقیقات جاری بر روی اسکلتون های فعال منحصرا بر اساس فناوری رباتیک بوده اند. کنترل پیگیرانه بیشتر بر انجام مطالعه متمرکز بوده و روش انتگراسیون سیستم در دستور کار قرار گرفته است.

sina-pub.ir



شکل 12: مسیر های تحقیقاتی برای فعال ترین اگزواسکلتون ها

با این حال، یک مسئله اصلی این است که اگزواسکلتون نوعی از ربات نیست.

روبات دوپا، نوعی سیستم الکترومکانیکی خودکار است که می تواند به طور خودکار حرکت کرده و و کار کند و صرفا شبیه انسان است. هدف اصلی از طراحی ربات دوپا، حفظ تعادل هنگام ایستادن است. با این حال هدف کنترلی اگزواسکلتون متفاوت از روبات است. اگزواسکلتون نوعی سیستم کمکی کوپلینک قوی می باشد که هدف کنترلی آن بر اساس حرکات انسانی از حیث موقعیت، سرعت و شتاب صورت می گیرد. طیف توان خروجی آن مطابق با ماهیچه های کاری است. پیش بینی حرکات غیر قابل پیش بینی در چندین هدف برای کنترل گر بسیار سخت است.

الکوریتم کنترل در ربات های پیشرفته نسبت به ربات های دوپا متفاوت تر است. الگوریتم هدایت و طراحی حرکتی اگزواسکلتون متفاوت است. اگرچه بسیاری از الکوهای حرکتی از مطالعات بیودینامیک ورزشی گرفته شده اند، این با ماهیت مغز تعیین می شود که در آن حرکات انسانی تصادفی و غیر قابل تکرار است. از این روی اگرچه این الگو ها ممکن است در شناسایی حرکت ارزشمند باشد، این به طراحی الگوریتم های کنترل اگزواسکلتون کمک می کند. از سوی دیگر ربات ها را می توان بر اساس این الگوها طراحی کرد.

محققان نشان داده اند که از پیشرفت های تحقیقات روبات های دوپا، چیز زیادی را نمی توان آموخت. بسیاری از کار ها و مطالعات با استفاده از روش های کنترل ربات به انتهای خود رسیده اند. متاسفانه

sina-pub.ir

بسیاری از مطالعات هنوز در همین راستا هستند. به عقیده ما، این دلیل اصلی درجا زدن در فناوری اگزواسکلتون است.

مسئله اصلی دیگر در مورد روش های تحقیقات فعلی، ساده سازی بیش از حد یک بعد بیومکانیکی است. در مطالعات بیومکامیکی مربوط به تحقیقات اگزواسکلتون، بدن انسان به عنوان یک فریم مکانیکی و هدف غیر فعال در نظر گرفته شده است. اثرات متقابل بین انسان و دستگاه به ندرت در نظر گرفته می شود. در سیستم کوپلینگ، ذهن پیشرفته انسان باید نقش مهمی در راهبرد کنترلی ایفا کند. این مشکل در بسیاری از تحقیقات ناشی از کوتاهی و غفلت فرد نیست. ارایه توصیف شفافی از بعد کاری بین انسان و سیستم مکانیکی در این سیستم کوپلینگ سخت است و از این روی بررسی مطالعات شفاف در این زمینه می تواند با مشکل رو به رو باشد. در این وضعیت، بدست اوردن سیستم کنترلی سخت است و یادگیری از این سیستم ها نیز می تواند مشکل باشد. بسیاری از محققان بر این موضوع تاکید می کنند که اگزواسکلتون باید از حرکات چارچوب اسکلتی انسان پیروی کند و هر گونه تداخل در آن ها شدید منع می شود. این سوال وجود دارد که در صورتی که پیروی اگزواسکلتون از حرکات بدن سخت باشد، چرا نباید این پیچیدگی را کاهش داد و یا ابزاری ساده را برای بر طرف کردن آن طراحی کرد؟ ما می توانیم با پا کذاشتن بر روی پدال دوچرخه سواری کنیم. توانایی انسان برای یادگیری استفاده از ابزار ها فراتر از انتظار است. این موجب می شود تا ساختار و کنترل اگزواسکلتون پیچیده تر باشد.

به علاوه، اگرچه به نظر می رسد که مسئله منابع انرژی و محرک مسائل فنی است و پیشرفت های روز افزونی برای این وجود دارد ولی ممکن است همیشه این امر صادق نباشد.

بسیاری از دستگاه های مهندسی از نقایصی نظیر اندازه بزرگ، وزن بیشتر، نویز بیشتر و مصرف برق بیشتر رنج می برند. هیچ یک از آن ها قابل مقایسه با ماهیچه های انسانی نمی باشند. مطالعه جدید الکتروپلیمری(66) می تواند بسیار امیدوار کننده باشد ولی هنوز در شرایط ازمایشگاهی است. در رابطه با منابع انرژی، اگرچه تراکم انرژی سلول های لیتیمی و پیل های سوختی طی سال های اخیر افزایش یافته

sina-pub.ir

است، ولی هنوز پاسخ گوی نیاز های انرژی اگزواسکلتون از حیث وزن و ایمنی نیست. به علاوه، باطری باید قادر به کار برای مدت زمان طولانی باشد. هم چنین اسکلت ها و فریم های ساختاری هنوز رضایت بخش نمی باشند. برخی از تست ها نشان می دهند که هیچ اگزواسکلتون واقعا راحت وجود ندارد حتی exoHiker نیز به این درجه نرسیده است. به علاوه عواملی نظیر انعطاف پذیری، پایداری، ایمنی، نگه داری و کنترل نویز نیز باید در نظر گرفته شوند.

آیا مسائل فوق، فنی هستند؟ اگر چنین است، اگزواسکلتون می تواند یک مسئله فنی باشد یا این که آیا اگزواسکلتون های سنکین می توانند عمر کوتاهی داشته باشند. در حقیقت، وقتی که مسئله فنی حل نشود، به یک مسئله علمی تبدیل می شود. حل این مسائل مستلزم کمک گرفتن از رشته های مختلفی است که شاید ارتباطی با اگزواسکلتون نداشته باشند.اگر محققان اگزواسکلتون از تحقیقات گذشته و روش های سنتی استفاده کنند آن ها باید بنشینند و منتظر پیشرفت های آینده باشند.

بعد از 10 سال مطالعات وسیع و پیشرفت های زیاد، افراد قادر به حل هیچ یک از این مسادل نبودند این مسائل باید 50 سال پیش حل می شئند. اگرچه برخی از پیشرفت های مهیج حاصل شده اند، موانع اصلی در ابعادی نظیر مواد، کنترل، ومحرک ها، بیومکانیک و مهندسی ماشین نیز نیاز هستند.در سال 2005 DARPA به این نتیجه رسید که هدف اصلی توسعه اگزواسکلتون بلند پروازی بود: توسعه اگزواسکلتون نسبت به سیستم ربات بسیار سخت تر است. کار های تحقیقاتی باید به مدت 10 سال دیگر انجام شوند. برایند آن بستگی به پیشرفت های فنی در آینده دارد.

پیش بینی بد بینانه توسعه اگزواسکلتون موجب شده است تا توجهات به سیستم های سلاح معطوف شود. نکته لازم به ذکر امریکن روبات سولیجر است که پوشش رسانه ای زیادی داشته است. این یک مفهوم جدید نیست و از روبات های دوپای سنتی متفاوت نیست. این به درگ بهتر مکانیسم راه رفتن انسان کمک کند با این حال مزیت کم تری نسبت به پلتفرم سلاح چارپا دارد.

sina-pub.ir

سرعت مطالعات اگزواسکلتون باید برای نشان دادن اهمیت اگزواسکلتون و بررسی جهات تحقیقاتی کاهش یابد. به نظر من، با توجه به شرایط فناوری و علمی، غیر ممکن است که اگزواسکلتون بتواند یک رویا و یک لباس جادویی باشد که تنها بر تن سوپرمن ها دیده شود. این ابزاری است که به ما در انجام وظایف خارج از توانمان کمک کند.

بر اساس این ایده، پیشنهاد ما این است که اگزواسکلتون غیر فعال مستلزم توجه بیشتری است نه تنها به خاطر این که دارای خصوصیات خاصی نظیر سطح پایین هوشمند سازی، سادگی ساختاری و عملکرد ساده می باشد بلکه این که قادر به حل مسائل عرضه انرژی، سیستم محرک و الگوریتم کنترلی می باشد که دانشمندان را از سال ها پیش با مشکل مواجه کرده است. از این روی اگزواسکلتون غیر فعال می تواند تبدیل به یک سیستم محبوب در زندگی روزانه افراد شود.

بیونیک می تواند نقش مهمی در کمک به طراحی اگزواسکلتون های غیر فعال داشته باشد. مطالعات نشان می دهند که به غیر از ماهیچه های قوی، دلیل دیگر این که چرا کانگروها، اسب ها، شتر مرغ و چیتا دونده ها وجهنده های خوبی هستند، تاندون های بلند و قوی آن هاست. آن ها همانند فنر عمل کرده و انرژی را ذخیره و ازاد می کنند. در صورتی که ساختار های تاندون مانند را بتوان در سیستم استفاده کرد طولی نمی کشد که اگزواسکلتون های غیر فعال مصنوعی را در خیابان ها ببینیم.

4- نتیجه گیری

به طور کلی، اگزواسکلتون از ربات دوپا، متفاوت بوده و شیوه های مطالعات فعلی و روش های تولید با ایراد و عیب هایی همراه هستند. ذهن انسان نمی تواند نقش مهمی در سیکل کنترلی ایفا کند و نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. ناکارامدی و وزن زیاد اکزواسکلتون ها یک مسئله فنی ساده نیست و موجب می شود تا طراحان با مشکل مواجه شوند و این مسئله به مدت زمان طولانی حل نشده است.

sina-pub.ir

در صورتی که محققان سطح خودکار و اتوماتیک اگزواسکلتون را نادیده بگیرند و شروع به طراحی ابزار های پوشیدنی کنند، چشم انداز روشنی در پیش خواهیم داشتند. این کار آسان نبوده و نیاز به پشتیبانی های فنی از دیدگاه بیومکانیک، ارگونومیگ و بیونیک است.

مؤسسه سینا
sina-pub.ir